

УДК 637.134.001.57

Гвоздєв О.В., канд. техн. наук, доц., Самойчук К.О. канд. техн. наук, доц.,
Паляничка Н.О. інженер (ТДАТУ Мелітополь)

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ANSYS WORKBENCH

У статті приведені результати комп'ютерного моделювання імпульсного гомогенізатора з використанням програмного забезпечення Ansys Workbench і визначені швидкості і тиск в залежності від амплітуди коливання поршня-ударника.

Ключові слова: імпульсна гомогенізація, швидкість, тиск, комп'ютерне моделювання, робоча камера, поршень-ударник, Ansys Workbench, Solidworks.

Постановка проблеми і її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Одним із найважливіших технологічних процесів в молочній промисловості є гомогенізація молока. Гомогенізація поряд з підвищенням харчової цінності молочних і комбінованих продуктів, покращує їх якість, а саме консистенцію і смак. Покращення смакових характеристик продуктів при гомогенізації пов'язано зі зменшенням розмірів часток дисперсної фази і відповідно збільшенням площі їх поверхні. Таким чином питання ефективності гомогенізації на сьогоднішній є досить актуальним [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз досліджень показав, що ефективність гомогенізації залежить від багатьох факторів, але одними з визначальних є тиск, що утворюється в ході процесу гомогенізації в робочій камері та швидкість потоку молока. Тільки після визначення швидкості потоку молока можливо розрахувати критерій Вебера, що дасть змогу перейти до оцінки дисперсних характеристик гомогенізованого продукту. Згідно досліджень Нужина Є.В., Грановського В. Я., Самойчука К. О. достатній показник дисперсності обробленого молока досягається при швидкостях від 10 – 15 м/с [2,3,4]. Тому ці дані ми приймаємо як вихідні для визначення орієнтовних границь та параметрів, які будуть використовуватись при побудові експериментальної установки для імпульсної гомогенізації молока.

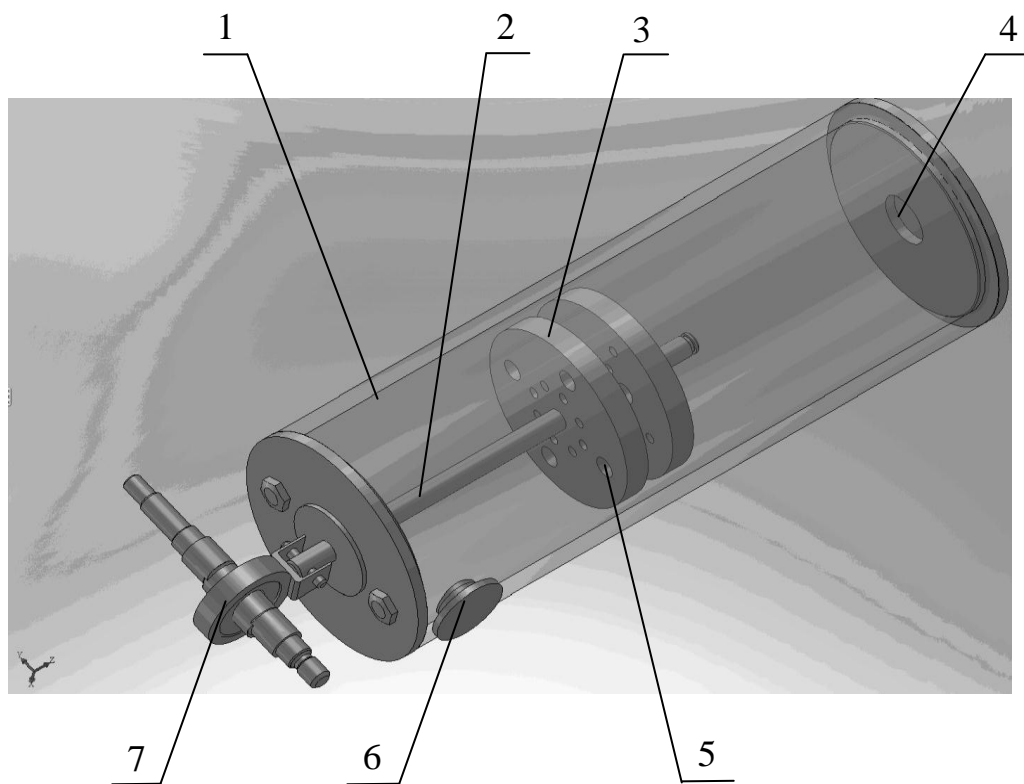
Постановка завдання. Метою даної роботи є розрахунок тиску і швидкості потоку молока при імпульсній гомогенізації за допомогою комп'ютерного моделювання з застосуванням універсальної програмної системи кінцево-елементного аналізу Ansys Workbench, які необхідні для визначення якісних характеристик гомогенізації.

Виклад основного матеріалу досліджень. Визначальним фактором, який впливає на ефективність гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі є швидкість в отворах поршня-ударника і швидкість в зазорі між робочою камерою і поршнем-ударником. Тиск і швидкість тісно пов'язані між собою. Оскільки ці параметри досить важко визначити за допомогою вимірювальних

пристроїв було вирішено розрахувати тиск і швидкість потоку молока за допомогою комп'ютерного моделювання з застосуванням універсальної програмної системи кінцево-елементного аналізу Ansys Workbench [5]. Дана програма має модуль CFX який дозволяє ефективно і надійно проводити розрахунки зв'язані з динамікою рідин та газів. Тільки визначення залежності швидкості від параметрів імпульсного гомогенізатора дасть можливість перейти до визначення ефективності гомогенізації.

В результаті проведених раніше аналітичних досліджень [6,7,8] було визначено, що робоча камера імпульсного гомогенізатора повинна представляти собою циліндр в середині якого знаходиться шток та два поршні-ударники. Для більшої ефективності гомогенізації в поршнях - ударниках повинні бути виконані осеві наскрізні отвори конічної форми з кутом 45° , які чергуються діаметрами вхідних і вихідних отворів по колу. Для підведення і відведення гомогенізуючої рідини в циліндрі необхідно зробити два патрубки. Для надання штоку імпульсних рухів використовувався кривошипний механізм. Вихідні параметри для комп'ютерного моделювання за результатами теоретичних досліджень становлять: діаметри отворів в поршні-ударнику $d_{\text{вхід}} = 0,008\text{м}$; $d_{\text{вих}} = 0,002\text{м}$, амплітуда коливань $h = 2 \dots 12\text{ мм}$; частота коливань поршня-ударника $f = 55\text{ Гц}$; висота циліндру $H = 0,5\text{м}$; діаметр циліндру $D = 0,3\text{м}$.

Маючи необхідні вихідні дані моделі робочої камери нами за допомогою системи автоматизації проектних робіт в трьох вимірах Solidworks [9] була спроектована робоча модель камери імпульсного гомогенізатора (рисунок 1).



1 – циліндр; 2 – шток; 3 – поршні-ударники; 4 – патрубок підведення; 5 – отвори конічної форми; 6 – патрубок відведення; 7 – кривошипний механізм.

Рисунок 1 – Модель робочої камери імпульсного гомогенізатора виконаної в Solidworks.

Далі дана модель була інтегрована безпосередньо в модуль CFX на базі платформи Ansys Workbench. Для отримання більш точних результатів розрахунку динаміки рідини і газів використовувалася остання версія системи створення сітки Ansys Meshing.

На першому етапі розрахунку було виконано стаціонарне вирішення методом фіксованого ротору (Frozen rotor). Це дозволило провести попередню оцінку розподілу тиску і швидкостей по об'єму робочого циліндру (рисунок 2). Крім того, отримані дані були використані як початкові умови для нестационарного розрахунку.

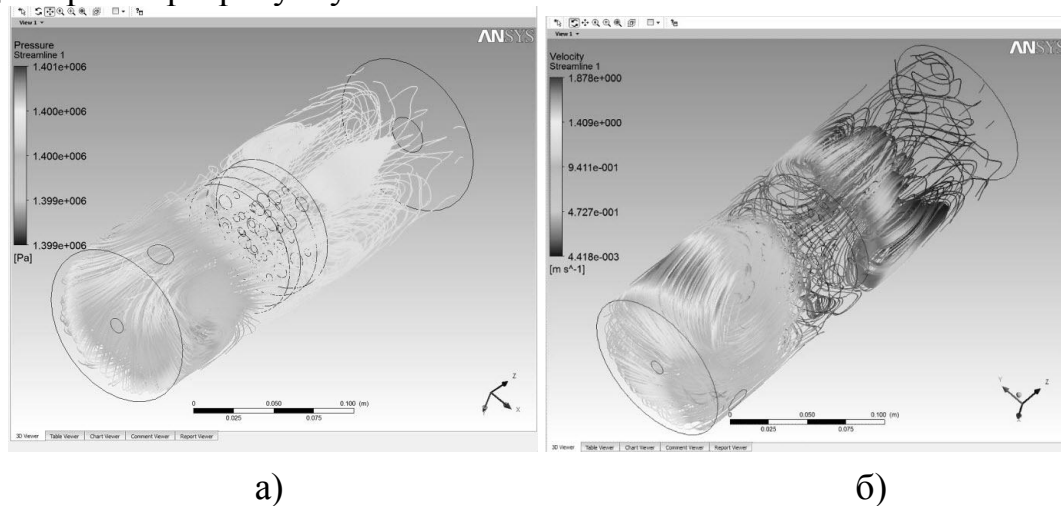


Рисунок 2 – Трьохвимірні графіки ліній току попереднього розподілу: а) тиску; б) швидкостей по об'єму робочої камери виконані в Ansys Workbench.

Для розрахунку нестационарного потоку молока було розглянуто амплітудний діапазон в 12 мм. Даний інтервал був розділений на 6 кроків. В результаті нев'язка по більшості рівнянь не перевищувала 10^{-5} . Така точність повністю прийнятна для якісної оцінки динаміки течії.

Згідно отриманих даних було побудовано графік залежності тиску, що утворюється в середині робочої камери під час імпульсної гомогенізації від амплітуди коливання поршня-ударника (рисунок 3).

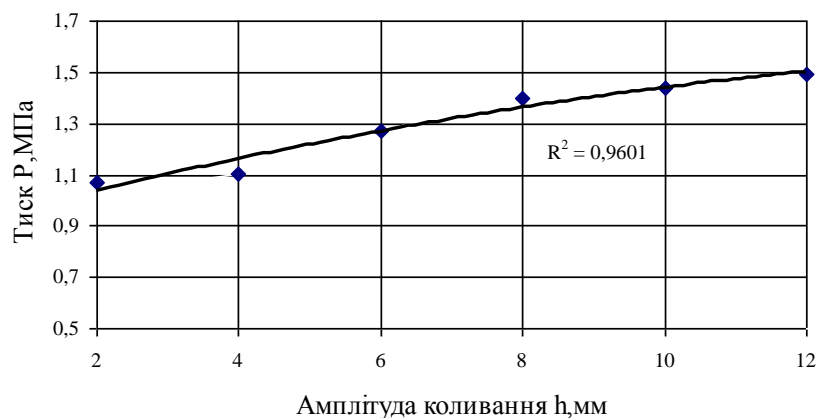


Рисунок 3 – Графік залежності тиску імпульсної гомогенізації від амплітуди коливання поршня-ударника імпульсного гомогенізатора.

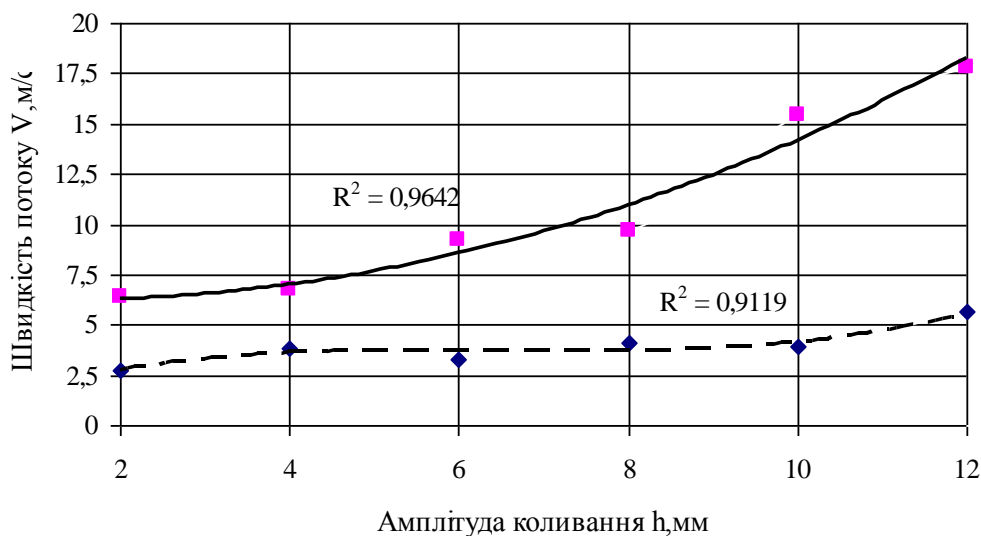
Рівняння апроксимації залежності тиску що утворюється в середині робочої камери під час імпульсної гомогенізації від амплітуди коливання поршня-ударника буде мати вигляд

$$P = -0,0019h^2 + 0,0727h + 0,9. \quad (1)$$

Як видно з графіку з підвищенням амплітуди коливання поршня-ударника імпульсного гомогенізатора зростає і тиск, який виникає в робочій камері під час гомогенізації.

Молоко в робочій камері імпульсного гомогенізатора проходить через отвори в поршні-ударнику, а також через зазор між поршнем-ударником і циліндром. Як було визначено отвори в поршні-ударнику мають конічну форму з кутом 45° і чередуються діаметрами вхідних і вихідних отворів по колу. Отже швидкість потоку буде різною в залежності від того з якого отвору прямого чи зворотно усіченого конусу буде виходити потік молока.

Внаслідок проведеного розрахунку в програмі Ansys Workbench були отримані дані, виходячи з яких ми в змозі побудувати графік залежності мінімального і максимального значення швидкості потоку молока в залежності від амплітуди коливання поршня-ударника імпульсного гомогенізатора (рисунок 4).



◆ Мінімальне значення швидкості ■ Максимальне значення швидкості

Рисунок 4 – Графік залежності мінімальної і максимальної швидкості потоку молока при проходженні крізь отвори в поршні-ударнику імпульсного гомогенізатора від амплітуди коливання поршня-ударника.

Рівняння апроксимації залежності відповідно мінімальної і максимальної швидкості потоку молока при проходженні крізь отвори в поршні-ударнику імпульсного гомогенізатора від амплітуди коливання поршня-ударника мають наступний вигляд

$$V_{min} = 0,0122h^3 - 0,2377h^2 + 1,5099h + 0,6, \quad (2)$$

$$V_{max} = 0,1057h^2 - 0,2829h + 6,44. \quad (3)$$

Частина потоку молока буде також проходити через зазор між поршнем-ударником і циліндром. Згідно отриманих розрахованих даних на рисунку 5 побудовано графік залежності швидкості потоку молока при проходженні крізь зазор між поршнем-ударником і циліндром від амплітуди коливання поршня-ударника під час імпульсної гомогенізації.

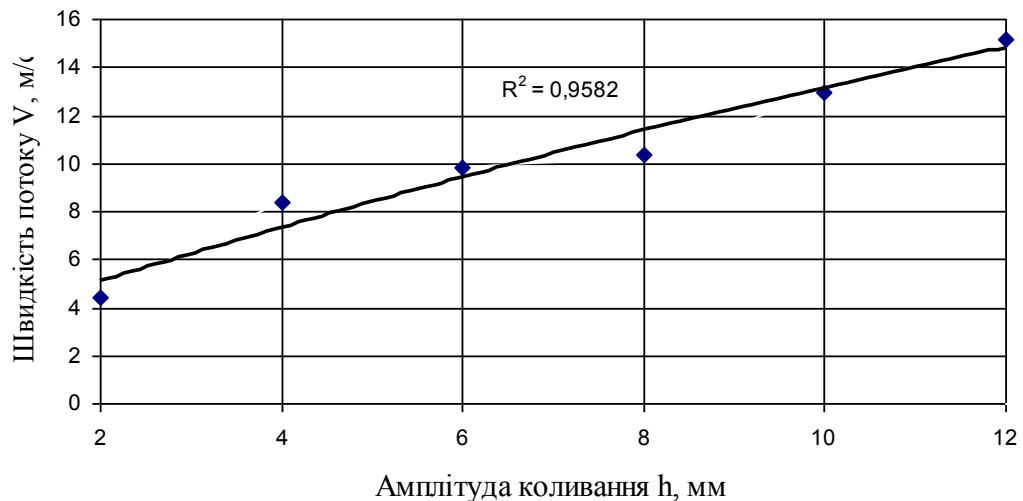


Рисунок 5 – Графік залежності швидкості потоку молока при проходженні крізь зазор між поршнем-ударником і циліндром робочої камери гомогенізатора від амплітуди коливання поршня-ударника.

Рівняння апроксимації залежності швидкості потоку молока при проходженні крізь зазор між поршнем-ударником і циліндром від амплітуди коливання поршня-ударника під час імпульсної гомогенізації має наступний вигляд

$$V = -0,0184h^2 + 1,2312h + 2,684 . \quad (4)$$

Згідно отриманих даних і графіків видно, що швидкість потоку, як при проходженні через отвори в поршні-ударнику так і при проходженні крізь зазор між поршнем-ударником і циліндром робочої камери імпульсного гомогенізатора зростає відповідно з підвищенням амплітуди коливання поршня-ударника, а отже можна припустити, що і ступінь гомогенізації буде відповідно зростати, але це планується перевірити в подальших експериментальних дослідженнях. Максимальне значення швидкості потоку молока при проходженні його через отвори поршня-ударника 15,44...17,84 м/с і при проходженні крізь зазор між робочою камерою і поршнем-ударником 12,92...15,2 м/с досягається при амплітуді коливання 10...12 мм, при цьому тиск, що утворюється в середині робочої камери становить 1,44...1,49 МПа.

Висновки і перспективи подальших досліджень. В ході проведеного комп'ютерного моделювання були розраховані значення і приведені рівняння залежностей тиску імпульсної гомогенізації від амплітуди коливання поршня-ударника імпульсного гомогенізатора; мінімальної і максимальної швидкості потоку молока при проходженні крізь отвори в поршні-ударнику імпульсного

гомогенізатора від амплітуди коливання поршня-ударника та швидкості потоку молока при проходженні крізь зазор між поршнем-ударником і циліндром робочої камери гомогенізатора від амплітуди коливання поршня-ударника, які необхідні для визначення ефективності гомогенізації та його енергетичних характеристик. Так, як мінімальна швидкість необхідна для одержання достатнього ступеня гомогенізації становить 10...15 м/с, то для імпульсного гомогенізатора можна прогнозувати оптимальну амплітуду коливання у межах 10...12 мм. Згідно одержаної комп'ютерної моделі швидкість потоку молока за останнім поршнем зростає в 1,8...2 рази. Це дає підстави припустити, що якість гомогенізації буде вище за розраховану. В перспективі подальшої роботи по даному напрямку є проведення експериментальних досліджень з визначення дисперсних характеристик гомогенізованого продукту та взаємозв'язку їх з режимами та параметрами імпульсного гомогенізатора.

Література

1. Вайткус В. В. Гомогенизация молока / В.В Вайткус ; – М. : Пищевая промышленность, 1967. – 215с.
2. Нужин Е. В. Гомогенизация и гомогенизаторы. Монография / Е. В Нужин, А. К. Гладушняк ; – Одесса: Печатный дом, 2007. – 264с.
3. Грановский В. Я. Новый гомогенизатор / В. Я. Грановский ; – М. : Пищевая промышленность, 1998. – №12. – С. 30–31.
4. Самойчук К.О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно-струменевого гомогенізатора молока: дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / К.О. Самойчук – Донецьк, 2008. – 155 с.
5. Басов К. А. Ansys: справочник пользователя / К. А. Басов ; – ДМК Пресс, 2005. – 640с.
6. Гвоздев О. В. Проектування імпульсного гомогенізатора молока. / О.В. Гвоздев, Н.О. Паляничка, І.В. Ляшок // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, – 2007. – Вип.7, т.5 – С. 85–91.
7. Пат.31092 Україна, МПК⁶ B01F 7/00, B01F 5/00. Гомогенізатор для рідких продуктів / О.В. Гвоздев, Н.О. Паляничка, Т.О. Шпиганович, І.В. Ляшок (Україна). - №200713188; заявл. 27.11.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл.№6.
8. Пат.37355 Україна, МПК⁶ B01F 7/00, B01F 5/00. Гомогенізатор для рідких продуктів / О.В. Гвоздев, Н.О. Паляничка, А.О. Івженко (Україна). - №200807808; заявл. 09.06.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл.№22.
9. Прохоренко В. П. SolidWorks. Практическое руководство / В. П. Прохоренко ; – М: ООО "Бином-Пресс", 2004. – 448с.